

# EUROPEAN PATENT OFFICE

## Patent Abstracts of Japan

PUBLICATION NUMBER : 2000286498  
PUBLICATION DATE : 13-10-00

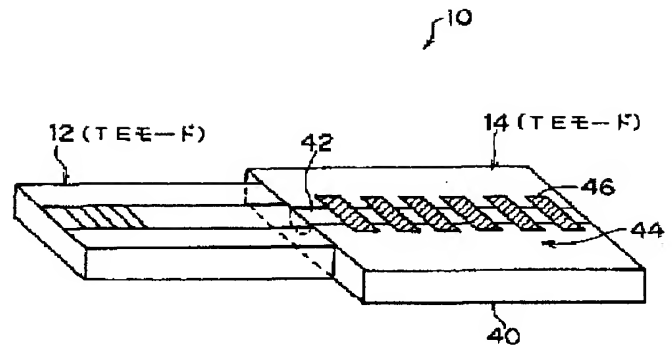
APPLICATION DATE : 31-03-99  
APPLICATION NUMBER : 11093845

APPLICANT : FUJI PHOTO FILM CO LTD;

INVENTOR : HATORI MASAMI;

INT.CL. : H01S 5/022

TITLE : SEMICONDUCTOR LASER MODULE  
AND ITS MANUFACTURE



ABSTRACT : PROBLEM TO BE SOLVED: To obtain a semiconductor laser module which can easily obtain a high wavelength conversion efficiency and a method for manufacturing the module.

SOLUTION: A semiconductor laser module 10 is formed by directly coupling a semiconductor laser 12, having a wavelength tuning mechanism with an optical wavelength conversion element 14 which emits a laser beam of second higher harmonics, by using the wavelength of an incident laser beam as a fundamental wave. The oscillation wavelength of the laser 12 is tunable and locked, so that the wavelength coincides with the phase matching wavelength of the wavelength conversion element 14. In the semiconductor laser 12, the substrates of the laser 12 and conversion element 14 are coupled directly with each other, at the end face of the optical waveguide 42 of the conversion element 14.

COPYRIGHT: (C)2000,JPO

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開2000-286498

(P2000-286498A)

(43) 公開日 平成12年10月13日 (2000. 10. 13)

(51) Int.Cl.<sup>7</sup>

H 0 1 S 5/022

識別記号

F I

H 0 1 S 3/18

サーチコード\* (参考)

6 1 2

5 F 0 7 3

審査請求 未請求 請求項の数 5 O L (全 12 頁)

(21) 出願番号 特願平11-93845

(22) 出願日 平成11年3月31日 (1999. 3. 31)

(71) 出願人 000005201

富士写真フイルム株式会社

神奈川県南足柄市中沼210番地

(72) 発明者 羽鳥 正美

神奈川県足柄上郡開成町宮台798番地 富

士写真フイルム株式会社内

(74) 代理人 100079049

弁理士 中島 淳 (外3名)

Fターム (参考) 5F073 AA65 AB23 CA04 CB02 DA05

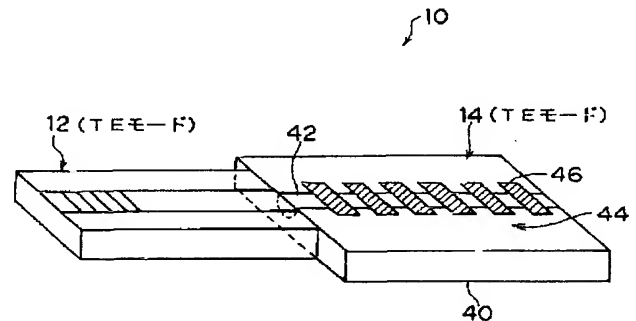
EA02 FA16

(54) 【発明の名称】 半導体レーザーモジュール、及び半導体レーザーモジュールの作成方法

(57) 【要約】

【課題】 容易に高い波長変換効率を得ることができる半導体レーザーモジュール、半導体レーザーモジュールの作成方法を得る。

【解決手段】 半導体レーザーモジュール10は、波長チューニング機構を有した半導体レーザー12と、入射されたレーザービームの波長を基本波として第2高調波のレーザービームを出射する光波長変換素子14と、が直接結合して形成される。半導体レーザー12の発振波長は、チューニング可能であり光波長変換素子14の位相整合波長に半導体レーザー12の発振波長が一致するようにロックされる。この半導体レーザー12は、光波長変換素子14の光導波路42の端面部分において基板同士が直接結合される。



## 【特許請求の範囲】

【請求項1】 非線形光学効果を有する強誘電体結晶基板に、該基板表面に沿って延びる該基板に対して平行な偏光成分を有するTEモード型の光導波路が形成されると共に、該光導波路に基板の自発分極の向きを反転させたドメイン反転部が周期的に形成されてなり、該光導波路においてドメイン反転部の並び方向に導波する基本波を波長変換する光波長変換素子と、

基板に対して平行な偏光成分を有するTEモードでレーザービームが発振可能であると共に該レーザービームの発振波長が調整可能でかつ前記光導波路へ光を入射させるための半導体レーザーと、

を備え、

前記光波長変換素子と、前記半導体レーザーとを、TEモードとして偏光方向が一致する方向でかつ、前記半導体レーザーの出射部と前記光波長変換素子の入射部との位置が一致するように取り付けたことを特徴とする半導体レーザーモジュール。

【請求項2】 前記基板の自発分極の向きは、基本波の導波方向に垂直な面内において該基板の前記表面に対して所定の角度をなして形成されたことを特徴とする請求項1に記載の半導体レーザーモジュール。

【請求項3】 非線形光学効果を有する強誘電体結晶基板に、該基板表面に沿って延びる該基板に対して平行な偏光成分を有するTEモード型の光導波路を形成すると共に、該光導波路に基板の自発分極の向きを反転させたドメイン反転部を周期的に形成しかつ、基本波の導波方向に垂直な面内において前記基板の自発分極の向きが該基板の前記表面に対して所定の角度をなして形成して、該光導波路においてドメイン反転部の並び方向に導波する基本波を波長変換する光波長変換素子を作成し、基板に対して平行な偏光成分を有するTEモードでレーザービームが発振可能であると共に該レーザービームの発振波長が調整可能でかつ前記光導波路へ光を入射させるための半導体レーザーを作成し、

前記形成された光波長変換素子と、前記半導体レーザーとを、TEモードの偏光方向が一致する方向でかつ、前記半導体レーザーの出射部と前記光波長変換素子の入射部との位置を一致させて取り付けることを特徴とする半導体レーザーモジュールの作成方法。

【請求項4】 平面を有しかつ、該平面と平行な所定段差の段差面を有する、前記光波長変換素子及び前記半導体レーザーを取り付けるための固定基板をさらに作成し、前記固定基板の平面に光波長変換素子を取り付けると共に、前記固定基板の段差面に半導体レーザーを取り付けることを特徴とする請求項3に記載の半導体レーザーモジュールの作成方法。

【請求項5】 入射基準面を有しかつ前記光波長変換素子の入射面に前記入射基準面が含まれるように前記光波長変換素子を固定可能な光波長変換素子ホルダ、及び出

射基準面を有しかつ前記半導体レーザーの出射面に前記出射基準面が含まれるように前記半導体レーザーを固定可能な半導体レーザーホルダを作成し、

前記光波長変換素子ホルダに前記光波長変換素子を固定すると共に、前記半導体レーザーホルダに半導体レーザーを固定し、

前記光波長変換素子ホルダの入射基準面と、前記半導体レーザーホルダの出射基準面とを接合して前記光波長変換素子と前記半導体レーザーを取り付けることを特徴とする請求項3に記載の半導体レーザーモジュールの作成方法。

## 【発明の詳細な説明】

## 【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、半導体レーザーモジュール、半導体レーザーモジュールの作成方法にかかり、特に、半導体レーザーの原発振波長を波長変換して所望の波長のレーザービームを出射する半導体レーザーモジュール、及び半導体レーザーモジュールの作成方法に関する。

## 【0002】

【従来の技術】非線形光学効果を有する強誘電体の自発分極（ドメイン）を周期的に反転させた領域を設けた光波長変換素子を用いて、基本波を第2高調波に波長変換する方法が既にBleombergen等によって提案されている

(Phys. Rev., vol. 127, No. 6, 1918 (1962) 参照)。この方法では、ドメイン反転部の周期 $\Lambda$ を、

$$\Lambda c = 2\pi \{ \beta(2\omega) - 2\beta(\omega) \}$$

ただし $\beta(2\omega)$ は第2高調波の伝搬定数

$\beta(\omega)$ は基本波の伝搬定数

で与えられるコヒーレント長 $\Lambda c$ の整数倍になるように設定することで、基本波と第2高調波との位相整合（いわゆる疑似位相整合）を取ることができる。このような周期ドメイン反転構造を、非線形光学材料からなる光導波路を導波させた基本波を波長変換する光導波路型の光波長変換素子に形成して、効率良く位相整合を取る試みもなされている。

【0003】一例として、周期ドメイン反転構造を形成した従来の光導波路型の光波長変換素子は、基板の自発分極の向きを、図12に示すように、一つの基板表面2a（それに沿って光導波路1が延びる基板表面）に対して、矢印Pで示す基板2の自発分極の向きが垂直にされたものである（特開平5-29207号公報参照）。

【0004】この技術では、波長変換を効率に行うため、Zカット基板を用いた技術の光学素子として、 $\text{LiNbO}_3$ 、 $\text{LiTaO}_3$ 等のZカットの基板を用いている。電圧印加法では、周期ドメイン反転を形成した場合、Z軸に沿って反転領域は延びる性質があるため、Zカット基板を用いた場合、深い周期ドメイン反転構造が形成できる。従って、光学素子に周期ドメイン反転構造を形成し、周期ドメイン反転構造が形成されている領域であれば、そこに光導波路を形成することによって、高効率な波長変換を行うことができる。

【0005】この光波長変換素子は、ドメイン反転部を基板表面から十分に深く形成できる反面、半導体レーザと組み合わせて用いる場合には基本波の入射光学系が複雑化する。すなわち、図12の構成において、導波光のビームパターンは図中Aで示すように、矢印Rで示す偏光ベクトルの向きに平行な方向のビーム径が小さく、それに直角な方向のビーム径が大きいものとなる。また、このとき、偏光ベクトルの向きは基板2の自発分極の向き（一般に $\text{LiNbO}_3$ 等の強誘電体において、自発分極の向きはZ軸と平行である）と一致し、導波モードはTMモードとなる。一方、半導体レーザ3から出射したレーザビーム4のビームパターンは、図中Bに示すように、矢印Qで示す偏光ベクトルの向きに平行な方向のビーム径が大きく、直交方向のビーム径が小さくなる。半導体レーザ3から出射したレーザビーム4を光導波路1に入力させるために各々の偏光方向を合わせると、ビーム形状がミスマッチし、レーザビーム4を効率良く光導波路1に入力させることができない。このため、第2高調波の強度が小さいものとなる。

【0006】従って、レーザビーム4のビームパターンはそのままにしてその偏光方向を $90^\circ$ 回転させるために、コリメーターレンズ5と集光レンズ6との間に入／2板7を配してなる複雑な基本波入射光学系が必要となる。

【0007】この問題を解消するため、光波長変換素子と半導体レーザとを集積化した光学素子が提案されている（特表平10-506724号参照）。この技術では、波長チューニング機構が付与された半導体レーザを光波長変換素子（導波路SHG）に直接取り付けている。これにより、波長チューニング機構が付与された半導体レーザで、光波長変換素子を励起しているため、光波長変換素子の位相整合波長に半導体レーザの発振波長を一致させることができる。

【0008】

【発明が解決しようとする課題】しかしながら、半導体レーザは基板に対して平行な偏光成分を有するTEモード発振であるのに対して、光波長変換素子は基板に対して垂直方向に偏光成分を有するTMモード発振である。このため、上記のように、波長チューニング機構が付与された半導体レーザを光波長変換素子に直接取り付けるためには、偏光方向を一致させる必要があり、互いの基板を直交させて取り付けなければならなかった。このように、従来の光学素子では、偏光方向を一致させるために、アライメントを高精度に行わなければならなかった。

【0009】本発明は、上記事実を考慮して、容易に高い波長変換効率を得ることができる半導体レーザモジュール、半導体レーザモジュールの作成方法を得ることが目的である。

【0010】

【課題を解決するための手段】上記目的を達成するために本発明の半導体レーザモジュールは、非線形光学効果を有する強誘電体結晶基板に、該基板表面に沿って延びる該基板に対して平行な偏光成分を有するTEモード型の光導波路が形成されると共に、該光導波路に基板の自発分極の向きを反転させたドメイン反転部が周期的に形成されてなり、該光導波路においてドメイン反転部の並び方向に導波する基本波を波長変換する光波長変換素子と、基板に対して平行な偏光成分を有するTEモードでレーザビームが発振可能であると共に該レーザビームの発振波長が調整可能でかつ前記光導波路へ光を入射させるための半導体レーザと、を備え、前記光波長変換素子と、前記半導体レーザとを、TEモードとして偏光方向が一致する方向でかつ、前記半導体レーザの出射部と前記光波長変換素子の入射部との位置が一致するように取り付けたものである。

【0011】上記のように、光波長変換素子と半導体レーザとは、共に、基板に対して平行な偏光成分を有するTEモードで光を伝播できるので、双方の基板は平行にできる。このため、光波長変換素子と半導体レーザとを垂直に配して接合することなく、容易に半導体レーザモジュールを作製することができる。また、半導体レーザの出射部と光波長変換素子の入射部との位置を一致させるので、光すなわちレーザビームの受け渡しが容易となる。

【0012】また、本発明の半導体レーザモジュールでは、半導体レーザは、TEモードでレーザビームが発振可能であると共に、レーザビームの発振波長が調整可能である。この調整可能なための構造には、分布ブラッグ型DBR (Distributed Bragg Reflector) や分布帰還型DFB (distributed feedback) があり、この構造により、例えば、光波長変換素子の位相整合波長に、半導体レーザの発振波長を容易に調整することができる。これによって、光波長変換素子の効率が最大となる波長に調整することができ、出力光量を最大にすることができる。

【0013】本発明の半導体レーザモジュールの光波長変換素子において、前記基板の自発分極の向きは、基本波の導波方向に垂直な面内において該基板の前記表面に対して所定の角度 $\theta$ をなして形成することができる。また、この角度 $\theta$ は、 $0.2^\circ$ を超えるように設定することが好ましく、また、前記光導波路をプロトン交換及びアニールにより形成した場合には角度 $\theta$ は、 $0.5^\circ$ を超えるように設定することが好ましい。

【0014】このように、基板の表面に対して所定角度 $\theta$ をなして形成することにより、基板の自発分極の向きすなわちZ軸方向が、基板表面に対して垂直ではないので、半導体レーザから出射したレーザビームをその直線偏光方向が基板表面と平行となる状態で光導波路に入射させても、非線形光学定数 $d_{33}$ が利用されて波長変換が

可能となる。

【0015】また、プロトン交換およびその後のアニールによって形成された光導波路において光ビームがTEシングルモードで導波するのは、Z軸と基板表面とがなす角度 $\phi$ が $0^\circ < \phi < 20^\circ$ の場合であることが分かっている。従って、光導波路がプロトン交換およびアニールにより形成されたものである場合は、角度 $\theta$ を $\theta < 20^\circ$ の範囲に設定すると、波長変換が効率良くこなされるようになる。

【0016】一方、最大の波長変換効率を得られる最適なデューティ比を持つ（つまりドメイン反転部と非反転部の幅の比が1:1である）ドメイン反転構造を形成した場合、角度 $\theta$ が数度以内であれば概ね $50\mu\text{m}$ となることが分かった。また一般に、導波モードの界分布は最も細くすると $1.2\mu\text{m}$ 程度にすることができる。従って、 $\theta = 0.2^\circ$ とすればドメイン反転部の深さが $1.2\mu\text{m}$ となり、ドメイン反転部がその深さ方向において導波モードの界分布とほぼ同サイズとなる。したがって、 $0.2^\circ < \theta$ とすれば、ドメイン反転部が導波モードの界分布と重なって余りあるものとなり、波長変換が効率良くこなされるようになる。

【0017】上記半導体レーザモジュールは、次の半導体レーザモジュールの作成方法により容易に作製することができる。詳細には、非線形光学効果を有する強誘電体結晶基板に、該基板表面に沿って延びる該基板に対して平行な偏光成分を有するTEモード型の光導波路を形成すると共に、該光導波路に基板の自発分極の向きを反転させたドメイン反転部を周期的に形成しかつ、基本波の導波方向に垂直な面内において前記基板の自発分極の向きが該基板の前記表面に対して所定の角度をなして形成して、該光導波路においてドメイン反転部の並び方向に導波する基本波を波長変換する光波長変換素子を作成し、基板に対して平行な偏光成分を有するTEモードでレーザビームが発振可能であると共に該レーザビームの発振波長が調整可能でかつ前記光導波路へ光を入射させるための半導体レーザを作成し、前記形成された光波長変換素子と、前記半導体レーザとを、TEモードの偏光方向が一致する方向でかつ、前記半導体レーザの出射部と前記光波長変換素子の入射部との位置を一致させて取り付ける。

【0018】上記半導体レーザモジュールの作成方法では、平面を有しかつ、該平面と平行な所定段差の段差面を有する、前記光波長変換素子及び前記半導体レーザを取り付けるための固定基板をさらに作成し、前記固定基板の平面に光波長変換素子を取り付けると共に、前記固定基板の段差面に半導体レーザを取り付けることができる。

【0019】このようにすることによって、前記平面と交差する方向すなわち垂直方向の位置合わせが不要となり、光学調整軸が水平方向のみとなるため、調整が容易

でかつ固定後の位置ずれも抑制することができる。なお、半導体レーザ及び光波長変換素子の各上面を前記固定基板及び固定基板の段差面に接合することが好ましい。この場合、導波路が裏側になり、上方から顕微鏡等の拡大鏡で観測しながら調整することが困難となるが、光波長変換素子の基板は一般に透明であるため、裏側からでも容易に観測することができる。

【0020】また、上記半導体レーザモジュールの作成方法では、入射基準面を有しかつ前記光波長変換素子の入射面に前記入射基準面が含まれるように前記光波長変換素子を固定可能な光波長変換素子ホルダ、及び出射基準面を有しかつ前記半導体レーザの出射面に前記出射基準面が含まれるように前記半導体レーザを固定可能な半導体レーザホルダを作成し、前記光波長変換素子ホルダに前記光波長変換素子を固定すると共に、前記半導体レーザホルダに半導体レーザを固定し、前記光波長変換素子ホルダの入射基準面と、前記半導体レーザホルダの出射基準面とを接合して前記光波長変換素子と前記半導体レーザを取り付けることができる。

【0021】このようにすることによって、各ホルダにおいて、例えば一直線に各素子の端面を並べることができ、並んだ側の端面が向き合うように、お互いを向き合わせてホルダー同士を、つき合わせることにによって、容易に前記光波長変換素子と前記半導体レーザを取り付けることができる。また、半導体レーザのレーザビーム出射位置と光波長変換素子の導波路の入射位置との調整も平面的に行うことができるので、結合効率を測定しながら固定することを容易に実施できる。

【0022】

【発明の実施の形態】以下、図面を参照して本発明の実施の形態を詳細に説明する。

〔第1実施の形態〕図1には、本実施形態にかかる半導体レーザモジュールの斜視形状を示した。

【0023】図1に示すように、本実施の形態の半導体レーザモジュール10は、波長チューニング機構を有した半導体レーザ12と、入射されたレーザビームの波長を基本波として第2高調波のレーザビームを出射する光波長変換素子14と、を直接結合して形成されたものである。

【0024】半導体レーザ12の発振波長は、チューニング可能であり光波長変換素子14の位相整合波長に半導体レーザ12の発振波長が一致するようにロックされる（詳細は後述）。この半導体レーザ12は、光波長変換素子14の光導波路42の端面部分において基板同士が直接結合される。

【0025】光波長変換素子14は、例えば $\text{MgO}$ が5mol%ドーパされた $\text{LiNbO}_3$ （以下、 $\text{MgO-LN}$ と称する）の結晶基板40上に例えばプロトン交換により形成された光導波路42と、波長変換部44とを有している（詳細は後述）。波長変換部44は、SHG素

子（第2高調波発生器）を構成しており、MgO-LN基板40の自発分極（ドメイン）が反転したドメイン反転部が所定周期で繰り返してなる周期ドメイン反転構造を有するものである。光導波路42には、半導体レーザー12から発せられた例えば波長950nmのレーザービームが入射される。

【0026】このように、TEモード導波型の光波長変換素子14と波長チューニング機構を有する半導体レーザー12とを直接結合しているため、半導体レーザー12と光波長変換素子14とが同一のTEモード導波であり、基板が同一平面になり、光学調整・固定が容易となる。さらに、LDが波長ロックしさらに波長チューニング可能な構造（例えば、後述する分布ブラッグ型DBR：Distributed Bragg Reflector、分布帰還型DBR：distributed feedback）を有するため、光波長変換素子14の位相整合波長に発振波長を調整することができる。このため、SHG効率が最大となるように、半導体レーザーを調整でき、出力光量を最大にすることができる。

【0027】次に、上記構成の半導体レーザーモジュールの作成方法を説明する。

【0028】まず、半導体レーザー12単体の作製方法を説明する。本実施の形態では、半導体レーザー12として、発振波長をチューニングするために、分布ブラッグ型DBR（Distributed Bragg Reflector）を用いている。なお、他のものとして、分布帰還型DFB（distributed feedback）を用いることができる。

【0029】図2に示すように、半導体レーザー12は、例えば、MOCVD結晶装置を用いて、GaAs基板20上に、グラッド層（図示省略）、レーザー発光が行われる活性層22、グラッド層（図示省略）、キャップ層24、電極26、28と順に積層し、形成する。本実施の形態の半導体レーザー12は、波長チューニング機構を有しており、電極26側がレーザー発光のための電流注入部27として機能し、電極28側が発振波長を調整するための波長チューニング部29として機能するように構成される。波長チューニング部29には発振波長をロックし、チューニングするためのグレーティング30が活性層22の近傍に形成されている。レーザー発光用の電極26には、レーザー発振のための電流 $I_{\text{laser}}$ を注入する。これにより、半導体レーザー12が発振する。波長チューニング用の電極28には、レーザー発振以下の電流 $I_{\text{tune}}$ を注入する。これにより、素子の屈折率のみを変化させて、グレーティング22でのブラッグ波長を変化させることができる。なお、半導体レーザー12は、これ以外に、より連続的に波長チューニング可能な位相制御用電極をさらに備えた3電極タイプのものを用いることができる。

【0030】このような構造にして半導体レーザー12を形成することによって、半導体レーザー12から出射されるレーザービームの出射位置は電極26の位置から数 $\mu\text{m}$

下になる。

【0031】次に、光波長変換素子14単体の作製方法を説明する。

【0032】本実施形態の光波長変換素子14は、非線形光学効果を有する強誘電体結晶基板に、その表面に沿って延びる光導波路が形成されると共に、この光導波路に基板の自発分極の向きを反転させたドメイン反転部が周期的に形成されてなり、該光導波路においてドメイン反転部の並び方向に導波する基本波を波長変換するものであり、基本波の導波方向に垂直な面内において、基板の自発分極の向きが該基板の上記一表面に対して、角度 $\theta$ （ $0^\circ < \theta < 20^\circ$ ）をなして形成することができる。

【0033】本発明に好適に用いられる強誘電体結晶基板としては、何もドーピングされていない $\text{LiNb}_x\text{Ta}_{1-x}\text{O}_3$ （ $0 \leq x \leq 1$ ）や、MgOがドーピングされた $\text{LiNbO}_3$ 基板が挙げられるが、これに限定されるものではなく、Znがドーピングされた $\text{LiNb}_x\text{Ta}_{1-x}\text{O}_3$ 基板や、Sc、MgOがドーピングされた $\text{LiNb}_x\text{Ta}_{1-x}\text{O}_3$ 基板や、 $\text{KTiOPO}_4$ 、 $\text{KNbO}_3$ 等のその他の材料からなる基板を用いることも可能である。上記のMgOがドーピングされた $\text{LiNbO}_3$ 基板は、光損傷に強いので、ノンドープの $\text{LiNb}_x\text{Ta}_{1-x}\text{O}_3$ 基板等よりも好ましい。

【0034】このような構成を有する光波長変換素子14では、図3に示すように基板2の自発分極の向きすなわちZ軸方向が、基板表面2aに対して垂直ではないので、半導体レーザー12から出射したレーザービーム4をその直線偏光方向（矢印Q方向）が基板表面2aと平行となる状態で光導波路1（図1の光導波路42）に入射させても、非線形光学定数 $d_{33}$ が利用されて波長変換が可能となる。なおこの場合、レーザービーム4の電界ベクトルの向きは基板表面2aと平行な向きとなり、該レーザービーム4は光導波路1をTEモードで導波する。そのときの実効的な非線形光学定数は $d_{33} \cos \theta$ となる。また、図3では、従来の技術で説明した図12中の要素と同等の要素には、同符号を付した。

【0035】上記のように、レーザービーム4をその直線偏光方向が基板表面2aと平行となる状態で光導波路1に入射させるのであれば、直線偏光方向を回転させるための $\lambda/2$ 板等は不要で基本波入射光学系は簡単なものとなり、半導体レーザー12を光導波路1の端面に直接結合することも可能となる。また、レーザービーム4をこのようにして光導波路1に入射させる場合は、レーザービーム4の光導波路1への入力効率も高くなる。

【0036】そして、基板2の自発分極の向きすなわちZ軸方向が基板表面2aに対して角度 $\theta$ をなしているとき、図4に示すようにドメイン反転部8の深さdは基本的に $d = L \cdot \tan \theta$ であるが、ドメイン反転領域の広がり $1 \mu\text{m}$ を考慮すれば、

$$d = L \cdot \tan \theta + 1 \mu\text{m} \quad \cdots \cdots (1)$$

となる。ここで、 $L$ の値は、ドメイン反転させるために電場を印加する手段（図4では、一例として櫛形電極10と平板電極11を示した）の大きさによって直接的に定まるものではなく、 $\theta$ の値が大きくなるにつれて増大する傾向を示す。なお、 $\theta = 0^\circ$ としてドメイン反転部8を形成すると、 $L$ が最小となり、図12の例では $\theta = 90^\circ$ としてドメイン反転部8を形成するため $L$ が最大（つまり電場印加用電極に対向する部分全域でドメイン反転が起きる）となる。

【0037】そこで、角度 $\theta$ をある程度大きく設定することにより、ドメイン反転部8の深さ $d$ を十分に大きくすることができる。このようにしてドメイン反転部8を十分に深くすることができれば、ドメイン反転部8と導波光との重なり積分が大きくなり、高い波長変換効率が得られるようになる。

【0038】本実施の形態では、上記構成の光波長変換素子14を用いた上で、実際にレーザビームがTEモードで導波するように半導体レーザを配設したものであり、上述のようにレーザビームの光導波路への入力効率が高くなり、基本波入射光学系は簡単なものとなり、そして高い波長変換効率が得られるものとなる。

【0039】ところで、プロトン交換光導波路において光ビームがTEシングルモードで導波するのは、Z軸と基板表面とがなす角度 $\phi$ が $0^\circ < \phi < 70^\circ$ の場合であると考えられている（例えばJournal of Optical Communications 5(1984)1.pp16~19参照）。本発明では、この角度 $\phi$ がすなわち角度 $\theta$ であるから、光導波路がプロトン交換により形成されたものである場合は、角度 $\theta$ を $\theta < 70^\circ$ の範囲に設定すると、波長変換が効率良くなされるようになる。

【0040】また、プロトン交換およびその後のアニールによって形成された光導波路において光ビームがTEシングルモードで導波するのは、Z軸と基板表面とがなす角度 $\phi$ が $0^\circ < \phi < 20^\circ$ の場合であることが分かっている。従って、光導波路がプロトン交換およびアニールにより形成されたものである場合は、角度 $\theta$ を $\theta < 20^\circ$ の範囲に設定すると、波長変換が効率良くなされるようになる。

【0041】一方、最大の波長変換効率が得られる最適なデューティ比を持つ（つまりドメイン反転部と非反転部の幅の比が1:1である）ドメイン反転構造を形成した場合、図4に示した $L$ 寸法は、 $\theta$ が数度以内であれば概ね $50 \mu\text{m}$ となることが分かった。また一般に、導波モードの界分布は最も細くすると $1.2 \mu\text{m}$ 程度にすることができる。したがって前述の(1)式より、 $\theta = 0.2^\circ$ とすればドメイン反転部の深さ $d = 1.2 \mu\text{m}$ となり、ドメイン反転部がその深さ方向において導波モードの界分布とほぼ同サイズとなる。したがって、 $0.2^\circ < \theta$ とすれば、ドメイン反転部が導波モードの界分布

と重なって余りあるものとなり、波長変換が効率良くなされるようになる。

【0042】なお、導波モードの界分布は上述のように最小で $1.2 \mu\text{m}$ 程度とすることができるが、この界分布が大きい程、外部光を光導波路に安定して入射させることができる。実際上は、この導波モードの界分布が $1.4 \mu\text{m}$ より大きければ外部光が光導波路に安定して入射する。前述の(1)式より、 $\theta = 0.5^\circ$ とすればドメイン反転部の深さ $d = 1.4 \mu\text{m}$ となるので、 $0.5^\circ < \theta$ とすれば基本波が光導波路に安定して入射し、またドメイン反転部が導波モードの界分布と重なって波長変換が効率良くなされるようになる。

【0043】従って、本実施の形態の光波長変換素子14は、 $\text{LiNbO}_3$ 基板表面にプロトン交換及びアニール処理により形成するため、基板表面の近傍に導波路ができ、導波路を伝播するレーザビームも表面近傍を導波することになる。

【0044】上記のようにして作製された半導体レーザ12と光波長変換素子14とを、図5(A)に平面形状で示し、図5(B)に側面形状で示すように、半導体レーザ12の出射部分と、光波長変換素子14の導波路部分（入射部分）とが一致するように接合する。光波長変換素子14と、波長チューニング機構を有する半導体レーザ12とは、共にTEモードの偏光すなわち同一のTEモード導波であり、基板が同一平面になり、光学調整・固定が容易である。また、LDが波長ロックしさらに波長チューニング可能な構造を有するため、光波長変換素子14の位相整合波長に発振波長を調整することができる。このため、SHG効率が最大となるように、半導体レーザを調整でき、出力光量を最大にすることができる。

【0045】なお、図6に示すように、半導体レーザ12と、光波長変換素子14とは、両者の間に $\text{SiO}_2$ 薄膜11を介して互いに結合させてもよい。

【0046】詳細には、半導体レーザ12の端面12a上に、絶縁体である $\text{SiO}_2$ の薄膜11を電子ビーム蒸着法により蒸着する。その際S102薄膜11は、例えば発光点12cを含む部分を金属マスクあるいはレジストによるマスクでマスキングして蒸着を行なうことにより、発光点12cから外れた部分のみに装荷する。なお、 $\text{SiO}_2$ 薄膜11の厚さは、 $0.5 \sim 3 \mu\text{m}$ とする。すなわち、この厚さが $8 \mu\text{m}$ を超えると、薄膜11が形成されない場合と比べて、光導波路42と半導体レーザ12との結合効率が半分以上に低下するので、上記程度の厚さとするのが望ましい。

【0047】この $\text{SiO}_2$ 薄膜11を装荷した後、半導体レーザ12の端面12a側を光波長変換素子14に結合すれば、図1および図6に示した半導体レーザモジュールが得られる。本モジュールにおいて、半導体レーザ12から発せられた中心波長 $950 \text{ nm}$ のレーザビーム



は、光波長変換素子14の光導波路42内に入射する。このレーザビームは光導波路42をTEモードで導波し、その周期ドメイン反転領域で位相整合（いわゆる疑似位相整合）が取られて、波長が1/2つまり475nmの第2高調波に波長変換される。この第2高調波もチャンネル光導波路18を導波モードで伝搬し、光導波路端面から出射する。

【0048】この半導体レーザモジュールにおいては、光波長変換素子14と半導体レーザ12とが、間に配されたSiO<sub>2</sub>薄膜11を介して結合されるので、半導体レーザ12の端面12a内にある光導波路端面と、光波長変換素子14の光導波路端面とが擦れ合うことがなくなって、それら両端面の損傷が効果的に防止される。そこでこの半導体レーザモジュールは、高い歩留まりで製造することができ、しかも高信頼性、高性能を有するものとなる。

【0049】また、SiO<sub>2</sub>薄膜11が半導体レーザ12の発光点12cの部分を外して装荷されるので、結果としてレーザビーム20の通過領域以外の部分のみに配されることになり、そこで、この薄膜11によるレーザビームの伝搬損失を抑えることができる。

【0050】さらにこの半導体レーザモジュールにおいては、特に絶縁体であるSiO<sub>2</sub>の薄膜11が適用されているので、該薄膜11を介して半導体レーザ12から電流がリークすることを防止して、半導体レーザ12の正常な動作を確保できる。

【0051】以上説明したように、本実施の形態によれば、LDと導波路との各々の単面を破壊することなく、高い結合効率で光結合が可能。また、調整も容易なため、安定して組み立てできる。

【0052】また、波長チューニング機構が付与されたDBR-LDを用いたため、光波長変換素子の位相整合波長に容易に調整でき、高いSHG効率の光源が実現できる。

〔第2実施の形態〕本実施の形態は、半導体レーザ12と光波長変換素子14とを例えばSi基板上に上下を逆にして配置させたものである。なお、本実施の形態は、上記実施の形態と略同様の構成のため、同一部分には同一符号を付して詳細な説明は省略する。

【0053】図7（A）に示すように、光波長変換素子14の導波路42は、表面近傍に位置している。また、半導体レーザ12も、表面近傍に位置している。そこで、組み付けの容易さを考慮して、半導体レーザ12と光波長変換素子14とを、上下を逆にして（図7（B）参照）、Si基板面に接して配置することが考えられる。この場合、光波長変換素子14の導波路42の位置が、より表面に近く、半導体レーザ12の出射ビーム位置12cが数μmだけ高くなり、半導体レーザ12の出射ビーム位置12cと光波長変換素子14の導波路42の位置が一致しなくなる。

【0054】そこで、図7（B）に示すように、少なくとも半導体レーザ12を収容可能な大きさでかつ半導体レーザ12の上面から出射ビーム位置12cの距離と光波長変換素子14の上面から導波路42の距離との差に相当する段差52を、予め板上のSi基板50の一方側にリノグラフィープロセスで形成する。そして、半導体レーザ12と光波長変換素子14とを、各々の上面側が基板50上に接するように逆にして配置する（図7

（C）参照）。これにより、垂直方向（図7の紙面上の上下方向）については、正確に半導体レーザ12の出射ビーム位置12cと光波長変換素子14の導波路42の位置が一致する。

【0055】次に、顕微鏡等の拡大鏡で観察しながら半導体レーザ12の出射ビーム位置12cと光波長変換素子14の導波路42の位置との水平方向（図7の紙面上の左右方向）の位置を一致させる。この場合、光波長変換素子14の導波路42からのビーム出射光量が最大となるように調整する。調整終了後には、接着剤または半田接合あるいは金属接合を行い固定する。半田あるいは金属接合の場合は、予めSi基板50上と光波長変換素子14、半導体レーザ12に接合用の金属パターンを重ねるように、各々パターンを形成しておく。その後、全体の温度を上げ、金属同士が融け接合が行われる。なお、半田接合は、その厚みが高精度に制御できるバンパ半田接合でもよい。

【0056】このように、本実施の形態では、Si基板50による加工プロセスが正確にできるため、垂直方向の位置合わせが不必要であり、光学調整軸が水平方向のみとなるため、調整が容易でかつ固定後の位置ずれも抑制することができる。例えば、光波長変換素子14と、半導体レーザ12の垂直方向の光ビーム径は、それぞれ2～3μmと約1μmと小さいため、従来非常に困難であった垂直方向の調整と固定を容易に行うことができる。

【0057】なお、本実施の形態では、Si基板50の表面に対して半導体レーザ12及び光波長変換素子14の各上面を接合するため、導波路42が裏になり、上方から顕微鏡で導波路を観測しながら行う調整が難しいことが考えられる。ところが、光波長変換素子14の基板は透明であるため、裏側からでも観測できる。一方、半導体レーザ12は可視光に対して透明ではないため、導波路の位置が特定できないが、本実施の形態によれば水平方向のみの調整で導波路同士が合う構造であるため、調整は容易に行うことができる。また、別の手段として、ハロゲンランプを光源に使い、センサに赤外光に感度のあるCCDを用いて調整すれば、半導体レーザに用いているGaAs基板は、赤外光は透過するので、裏側からの観測でも半導体レーザの導波路位置を観測することができ、この問題も解決することができる。

〔第3実施の形態〕本実施の形態は、半導体レーザ12



と光波長変換素子14とを例えばSi基板上に上下を逆にする事なくそのままの方向で配置させるためのものである。なお、本実施の形態は、上記実施の形態と略同様の構成のため、同一部分には同一符号を付して詳細な説明は省略する。

【0058】上記説明したように、半導体レーザ12と光波長変換素子14とを上下を逆にする事なくSi基板上に配置する場合、各々のビームの垂直方向の位置を正確に合わせることが困難である。すなわち、半導体レーザ12と光波長変換素子14との基板の厚さは各々500 $\mu$ m程度であるが、基板の裏面からビームの出射位置までも同様に500 $\mu$ mとなり、裏面からビーム位置までの厚さを予め正確に研磨等で調整しなければならない。レーザビームのビーム径が1または2～3 $\mu$ mであるため、固定精度は、0.1 $\mu$ mの精度が必要であり、0.1 $\mu$ m精度で厚さを調整しないと、お互いのビーム位置が一致しない。しかしながら、0.1 $\mu$ m精度で基板の厚さを加工することは、技術的に困難であると共に、高歩留まりで安価に作製することができない。

【0059】そこで、本実施の形態では、以下のようにして、半導体レーザ12と光波長変換素子14とのおのおのをホルダに取り付けて、ホルダ同士を接合することにより、半導体レーザモジュールを得ることができた。

【0060】半導体レーザ12と光波長変換素子14とは、双方が上面を向いているとお互いの導波路が顕微鏡で良く観察できるので、半導体レーザ12と光波長変換素子14との各導波路の調整がし易い。このため、まず、半導体レーザ12については、図8(A)及び図9(A)に示すように、半導体レーザ本体であるLDチップ60をヒートシンク62上に載置し、さらにLDホルダ64に実装する。LDホルダ64は、断面コ字状に形成されたブロックからなり、その凹部にヒートシンク62に載置されたLDチップ60が取り付けられる。

【0061】また、LDホルダ64は、端面64aが高精度に研磨されており、基準板54の一方の基準面54aに密着可能に形成されている。そこで、LDチップ60を載置したヒートシンク62をLDホルダ64に実装するときには、基準板54の基準面54aに対してLDチップ60、ヒートシンク62及びLDホルダ64の各端面が一直線に並ぶようにする。例えば、基準板54の基準面54aにLDチップ60の端面60a、ヒートシンク62の端面62a及びLDホルダ64の端面64aの各端面を当接して各々取り付ける。

【0062】同様に、光波長変換素子14は、図8(B)及び図9(B)に示すように、光波長変換素子本体であるSHG導波路70を、SHGホルダ72に実装する。SHGホルダ72は、断面コ字状に形成されたブロックからなり、その凹部にSHG導波路70が取り付けられる。SHGホルダ72は、端面72aが高精度に研磨されており、基準板54の他方の基準面54bに密

着可能に形成されている。そこで、SHG導波路70をSHGホルダ72に実装するときには、基準板54の基準面54bに対してSHG導波路70及びSHGホルダ72の各端面が一直線に並ぶようにする。例えば、基準板54の基準面54bにSHG導波路70の端面70a及びSHGホルダ72の端面72aの各端面を当接して各々取り付ける。

【0063】以上のようにして各ホルダを作製した後(図10(A)参照)、一直線に並んだ側の端面が向き合うように、お互いを向き合わせてホルダ同士を、つぎ合わせて半導体レーザ12のレーザビーム出射位置と光波長変換素子14の導波路42の入射位置との調整を平面的に行う(図10(B)参照)。この接合面内での調整後には、ホルダ同士を接着剤で固定する。固定は、YAGレーザ溶接でも良い。YACレーザ溶接は、パルスYAGレーザを接合面の外周部数力所に照射することによって、固定することができる。LDチップ60とSHG導波路70とは予め基準板54を用いて一直線に並ぶように調整してため、お互いがぶつかり破壊することがなく、50%の結合効率を得ることができた。

【0064】なお、LDホルダ64及びSHGホルダ72の各々の凹部の深さは、LDホルダ64の下面64bから出射ビーム位置までの距離と、SHGホルダ72の下面72bからのSHG導波路70の入射位置までの距離とが一致するように、予め差を設けて構成することが好ましい。このようにすることで、LDホルダ64及びSHGホルダ72を水平方向(図9の矢印A方向)にのみ調整することによって、半導体レーザ12の出射ビーム位置12cと光波長変換素子14の導波路42の位置とを容易に一致させることができる。

【0065】また、LDホルダ64及びSHGホルダ72の各々の側面64c、72cを精度よく形成しかつ、LDホルダ64及びSHGホルダ72の水平方向(図9の矢印A方向)に側面64c、72cから等距離となるように、LDチップ60及びSHG導波路70を取り付ける。このようにすることで、LDホルダ64及びSHGホルダ72を垂直方向(図9の矢印B方向)にのみ調整することによって、半導体レーザ12の出射ビーム位置12cと光波長変換素子14の導波路42の位置とを容易に一致させることができる。

【0066】次に、上記のようにして形成された半導体レーザ12と光波長変換素子14と(半導体レーザモジュール)にコリメートレンズ58を調整・固定して、SHGモジュールを作製した。具体的には、図11に示すように、LDホルダ64に取り付けられた半導体レーザ12とSHGホルダ72に取り付けられた光波長変換素子14との組立体を台座56に固定する。この台座56には、コリメートレンズ58が取り付けられており、上記組立体の固定時に、コリメートレンズ58からの出射光がコリメート光となるように調整しつつ固定した。そ

して、注入電流  $I_{\text{laser}}$ 、及び  $I_{\text{tune}}$  を調整することにより半導体レーザ 12 の発振波長を光波長変換素子 14 の位相整合波長に調整した。これにより、最大の SHG 出力が得られるようにすることができた。

【0067】注入電流  $I_{\text{laser}}$ 、及び  $I_{\text{tune}}$  を調整することにより、数 nm 単位で発振波長を調整でき、出力 50 mW 出力の半導体レーザで、25 mW のパワーのレーザビームが導波路に入力され、その出力として 2 mW の 490 nm 波長の第二高調波を発生することができた。

【0068】なお、本発明は、方向性光結合器によって導波光を変調する、例えば特開平 10-161165 号に示されるように、電気光学効果を有する 2 本の光導波路に近接した電極に電圧を印加することにより、2 本の導波路間を切り替えて、あるいは中間の電圧をとることにより、中間レベルの光強度になるように、導波光を変調するようにしてもよい。

【0069】また、本発明の導波路型光変調素子は、先に述べたプロトン交換光導波路に限らず、その他の Ti 拡散光導波路等を設けて構成することも可能である。

【0070】さらに、光導波路を形成する基板も、前述の MgO がドーパされた LiNbO<sub>3</sub> 基板に限らず、その他の LiNbO<sub>3</sub> 基板やノンドープの LiNbO<sub>3</sub>、ZnO や Sc がドーパされた LiNbO<sub>3</sub> 基板、LiTaO<sub>3</sub> 基板、MgO や ZnO がドーパされた LiTaO<sub>3</sub> 基板等を利用することもできる。

【0071】また、上記導波路を備えた光波長変換素子は、QPM 導波路を備えたものでもよい。

【0072】

【発明の効果】以上説明したように本発明の半導体レーザモジュールによれば、光波長変換素子と半導体レーザとを共に、基板に対して平行な偏光成分を有する TE モードで光を伝播できるので、双方の基板を平行にすることができ、光波長変換素子と半導体レーザとを垂直に配して接合することなく、容易に半導体レーザモジュールを作製することができる、という効果がある。

【0073】また、半導体レーザの出射部と光波長変換素子の入射部との位置を一致させるので、光すなわちレーザビームの受け渡しが容易となる、という効果がある。

【0074】また、本発明の半導体レーザモジュールの作成方法によれば、平面と平行な所定段差の段差面を有する固定基板の平面に光波長変換素子を取り付けると共に、固定基板の段差面に半導体レーザを取り付けることによって、平面と交差する方向すなわち垂直方向の位置合わせが不要となり、光学調整軸が水平方向のみとなるため、調整が容易でかつ固定後の位置ずれも抑制することができる、という効果がある。

【0075】また、光波長変換素子を固定可能な光波長変換素子ホルダ、及び半導体レーザを固定可能な半導体レーザホルダを用いて、光波長変換素子を固定すると共

に、半導体レーザを固定し、光波長変換素子ホルダの入射基準面と、半導体レーザホルダの出射基準面とを接合することによって、各ホルダにおいて、例えば一直線に各素子の端面を並べることができ、並んだ側の端面が向き合うように、お互いを向き合わせてホルダー同士を、つぎ合わせることが容易となり、光波長変換素子と半導体レーザを容易に取り付けることができる、という効果がある。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の第1実施の形態にかかる半導体レーザモジュールの斜視形状を示すイメージ図である。

【図2】本発明の第1実施の形態にかかる半導体レーザの側面形状及び正面形状を示すイメージ図である。

【図3】本発明の第1実施の形態にかかる光波長変換素子の概略形状を斜視図で示すイメージ図である。

【図4】本発明の第1実施の形態にかかる光波長変換素子の基板の分極の向きを説明するための説明図である。

【図5】半導体レーザと光波長変換素子とを固定することを説明するための説明図である。

【図6】半導体レーザと光波長変換素子とを薄膜を介して固定することを説明するための説明図である。

【図7】本発明の第2実施の形態にかかり、半導体レーザと光波長変換素子とを段差を有する基板薄膜を介して固定することを説明するための説明図である。

【図8】本発明の第3実施の形態にかかり、半導体レーザと光波長変換素子とをホルダに固定して固定することを説明するための説明図であり、(A)は半導体レーザについて示し、(B)は光波長変換素子について示している。

【図9】半導体レーザと光波長変換素子とをホルダに固定した状態の正面図を示し、(A)は半導体レーザについて示し、(B)は光波長変換素子について示している。

【図10】半導体レーザと光波長変換素子とをホルダに固定した状態で固定することを説明するための説明図であり、(A)は分離状態を示し、(B)は接合状態を示している。

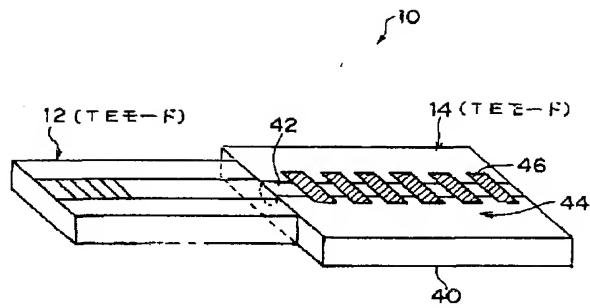
【図11】SHGモジュールの概略構成を示すイメージ図である。

【図12】従来の半導体レーザと光波長変換素子の概略構成を示すイメージ図である。

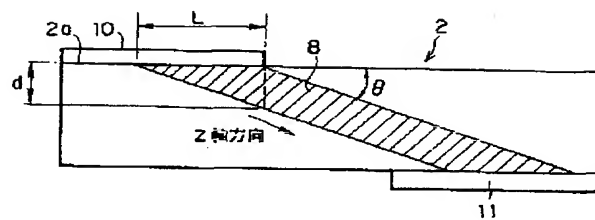
【符号の説明】

- 10 半導体レーザモジュール
- 12 半導体レーザ
- 14 光波長変換素子
- 26 電極
- 28 電極
- 30 グレーティング
- 58 コリメートレンズ

【図1】

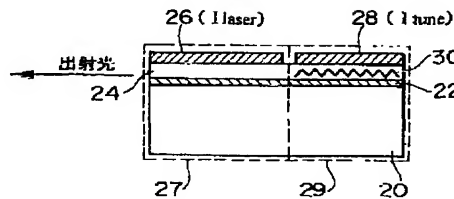
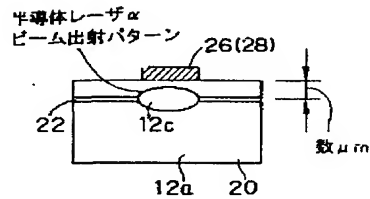


【図4】

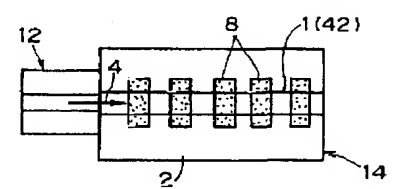


【図5】

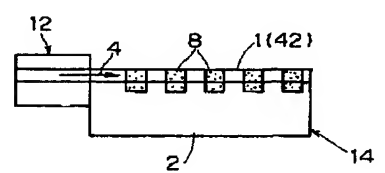
【図2】



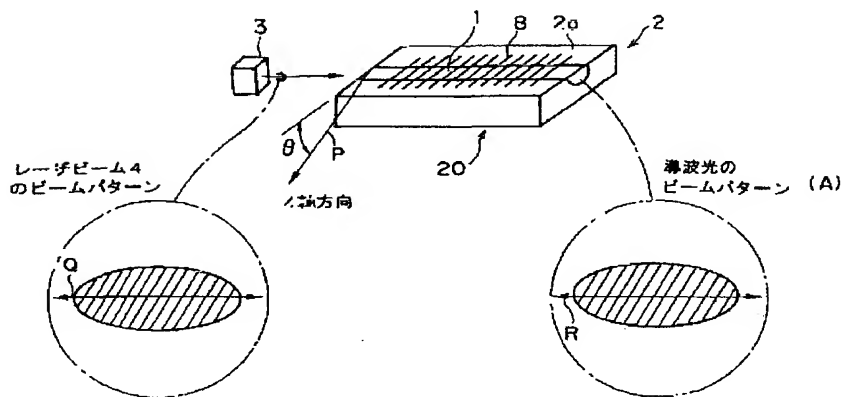
(A)



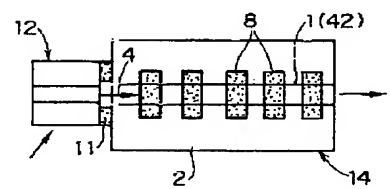
(B)



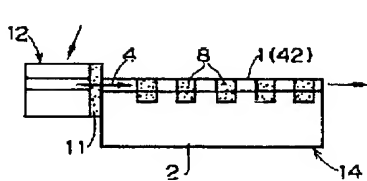
【図3】



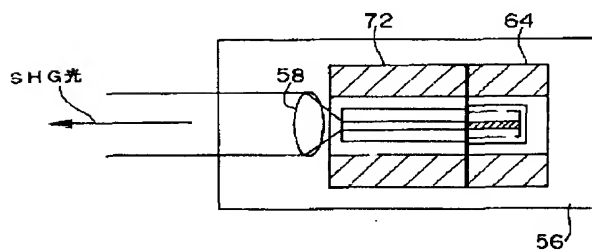
【図6】



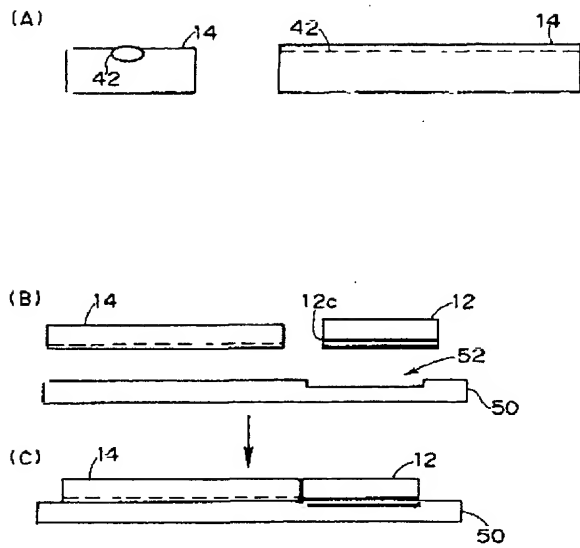
(B)



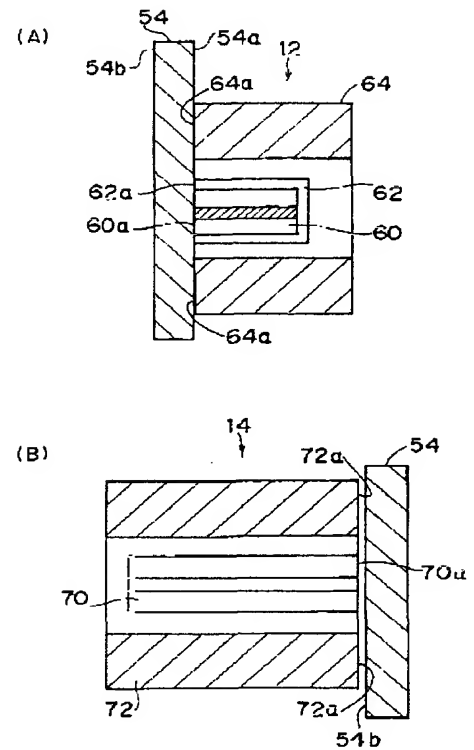
【図11】



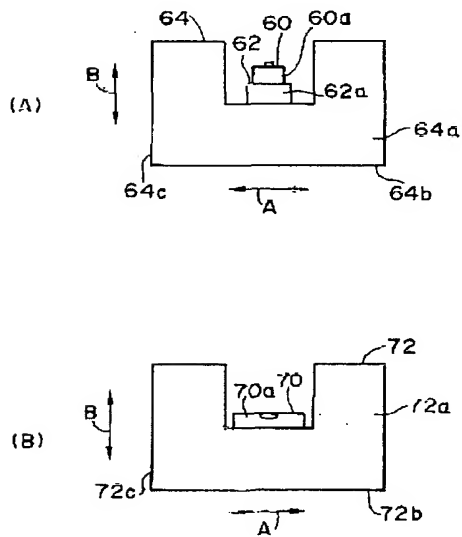
【図7】



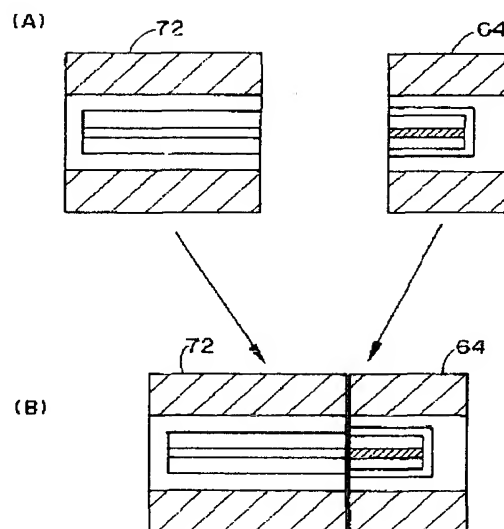
【図8】



【図9】



【図10】



【図12】

